

PERANCANGAN *ELECTRONIC LOAD CONTROLLER* (ELC) SEBAGAI PENSTABIL FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Erdyan Setyo W¹, Mochammad Rif'an, ST., MT.,², Teguh Utomo, Ir., MT ³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: erdy_cor3nerz@yahoo.com

Abstrak - Demi berkembangnya suatu pemerataan pembangunan suatu wilayah, maka diupayakan pemerataan ketersediaan tenaga listrik di semua wilayah dalam suatu negara. Hal itu ditunjang dengan pengembangan sumber – sumber tenaga listrik terbarukan, misalnya dalam PLTMH. Suatu sistem membutuhkan pengelolaan yang efisien. Dibuatlah suatu alat penunjang sistem PLTMH tersebut, salah satunya *electronic load controller* yang berfungsi menjaga stabilitas dan ketahanan sistem pembangkit akibat berbagai perubahan yang terjadi pada sisi beban. Perancangan ini bertujuan untuk merancang *electronic load controller* sebagai penstabil frekuensi pada PLTMH.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah melalui pendekatan perubahan frekuensi yang didapat berdasarkan perubahan tegangan yang terjadi akibat kondisi beban yang berubah pula. Pengujian menunjukkan pengendalian beban menggunakan elc mampu menjaga nilai daya beban pada kisaran nilai daya nominal dengan nilai error yang masih dapat ditolerir, yaitu rata – rata sebesar 1%.

Kata kunci: *Electronic Load Controller*, frekuensi, Beban Utama, Beban Komplemen

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik pada daerah – daerah pedesaan maupun daerah terpencil adalah kunci dari keseimbangan pembangunan di suatu negara karena listrik sudah menjadi kebutuhan yang paling penting sebagai penunjang kehidupan yang semakin maju[1].

Dibuatlah sistem PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) berskala kecil (antara 5 kW - 100kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik[2].

Sebuah pengaman dibutuhkan dalam PLTMH tersebut, untuk meningkatkan usia gunanya dengan mencegah berbagai kerusakan misalnya pada bagian

beban, turbin, maupun generator dengan menggunakan sebuah alat yaitu ELC (*Electronic Load Controller*).

Penelitian tentang elc ini telah dilakukan sebelumnya, di antaranya oleh Muhammad Kholifatulloh pada tahun 2012 yang mendesain elc sebagai pengendali beban komplemen dan dinamik, dengan metode deteksi arus.

Penelitian yang dilakukan kali ini adalah merancang elc sebagai penstabil frekuensi dengan metode deteksi frekuensi yang berubah – ubah sesuai perubahan kondisi beban utama, karena variabel frekuensi merupakan dasar perhitungan daya yang juga lebih akurat, lebih mudah dioperasikan, juga lebih murah

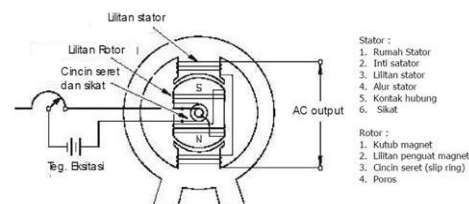
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan generator yang bekerja secara sinkron, yaitu berarti frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator tersebut sinkron dengan putaran mekanisnya. Rotornya, yang diputar dengan penggerak mula, terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah yang menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Hubungan antara medan magnet dalam mesin dengan frekuensi listrik dalam stator ditunjukkan dalam Persamaan (2.1) [3].

$$f = \frac{n_s \cdot p}{120} \quad (2.1)$$

Dengan : f = frekuensi stator (Hz)
 n_s = kecepatan putar medan magnet atau kecepatan putar rotor (rpm)
 p = jumlah kutub.



Gambar 1. Konstruksi generator sinkron

Generator sinkron seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1, menggunakan sumber tegangan DC untuk

menimbulkan medan magnet yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan dalam sisi keluaran generator. Oleh karena itu, penguatan medan dari generator tidak tergantung dalam jaringan listrik sehingga ideal untuk sistem pembangkitan yang berdiri sendiri.

B. Frekuensi kerja generator AC PLTMH

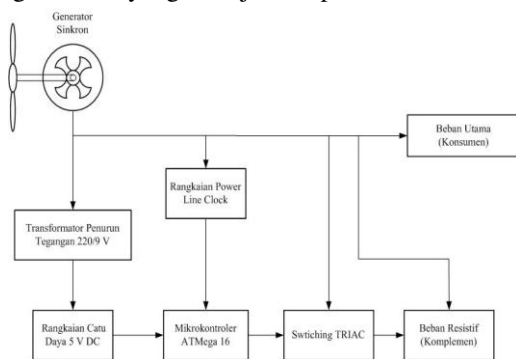
Generator sinkron dalam PLTMH menggunakan frekuensi yang sama dengan sistem tenaga listrik di Indonesia, yaitu $\pm 50\text{Hz}$. [4]

Hal ini disebabkan karena para produsen generator maupun turbin tentunya mempunyai batasan dan tentunya setelah para produsen bereksperimen puluhan tahun dengan mempertimbangkan segala sudut teknis maka dibuatlah standar yang 50 hz dan 60 hz itu, yg tentunya dinilai cukup efektif untuk kestabilan beban dan efisien dari sisi teknis maupun ekonomis. Eropa menggunakan 50 hz dan Amerika menggunakan 60 hz. Setelah adanya standarisasi maka semua peralatan listrik di desain mengikuti ketentuan ini. Jadi logikanya kalau 50 hz atau 60 hz saja sudah mampu membuat lampu tidak kelihatan kedap-kedip untuk apalagi dibuat frekwensi lebih tinggi yg akan memerlukan turbin super kencang dan sumber energi lebih banyak sehingga tidak efisien.[5]

III. PERANCANGAN

A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dibuat berdasarkan spesifikasi perancangan alat pada bab sebelumnya dan kondisi pembebanan yang telah diasumsikan, sebuah sistem ELC sebagai penstabil frekuensi otomatis untuk beban komplemen resistif, dapat disusun menjadi suatu diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 2. Diagram blok sistem ELC

B. Beban Komplemen

Beban komplemen dirancang untuk menstabilkan nilai tegangan dan frekuensi berdasarkan perubahan nilai tegangan beban utama. Nilai frekuensi beban komplemen ini mengacu pada perubahan frekuensi

beban utama. Perubahan tersebut berdasarkan Persamaan (1).

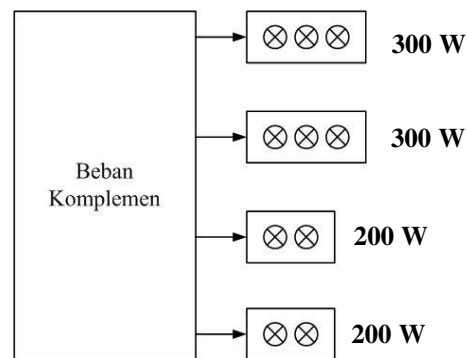
$$f_{generator} = f_{beban\ utama} \quad (1)$$

Melalui pengujian pembebanan generator (Subbab 5.1), saat generator dibebani beban berupa lampu pijar 100 watt dalam kondisi nominal (tegangan 220 volt, putaran 1500 rpm), terjadi perubahan pada tegangan dan frekuensi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai perubahan frekuensi beban untuk penambahan lampu pijar

Daya Beban (W)	Tegangan Generator (V)	Frekuensi (Hz)
0	220	51,8
100	218	51,2
200	215	51
300	210	50,6
400	205	50,2
500	200	50
600	195	49,9
700	190	49,6
800	185	49,2
900	180	49
1000	175	48,8

Setelah mengetahui kenaikan frekuensi yang terjadi, dan rencana alat maka dirancang 4 buah step beban ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan Beban Komplemen

Data pada Tabel 4.1 menjadi acuan menentukan pola kombinasi beban komplemen (Tabel 4.2) yang akan aktif sesuai dengan penurunan yang terjadi pada beban konsumen. Semakin besar penurunan frekuensi pada beban utama, maka semakin terang nyala lampu pada beban komplemen.

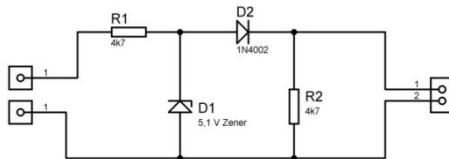
Tabel 2 .Kombinasi beban komplemen

Peng ujian ke-	Daya Beban Utam a(W)	Beban Kompl emen 1(300 W)	Beban Kompl emen 2 (300 W)	Beban Kompl emen 3(200 W)	Beban Kompl emen 4(200 W)
1	1000	0	0	0	0
2	900	25	25	25	25
3	800	50	50	50	50
4	700	75	75	75	75
5	600	100	100	100	100
6	500	125	125	125	125
7	400	150	150	150	150
8	300	175	175	175	175
9	200	200	200	200	200
10	100	225	225	225	225

C. Perancangan perangkat Keras Modul ELC

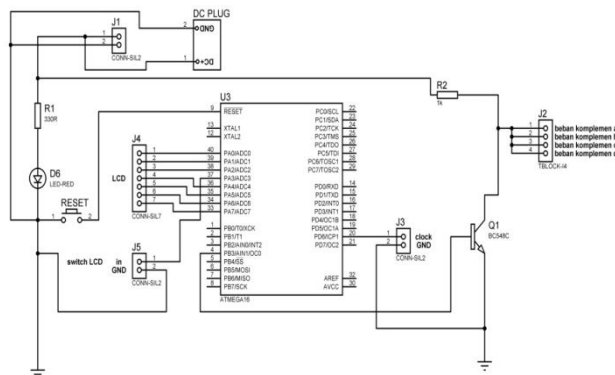
1. Perancangan Rangkaian Mikrokontroler

Perancangan perangkat keras modul ELC pada PLTMH untuk beban komplemen resistif mengacu pada Gambar 3 untuk rangkaian *power line clock* sebagai pendeteksi frekuensi line generator, Gambar 4 untuk rangkaian mikrokontrolernya dan Gambar 5 untuk rangkaian pemucuan beban komplemen.



Gambar 4 .Rangkaian power line clock

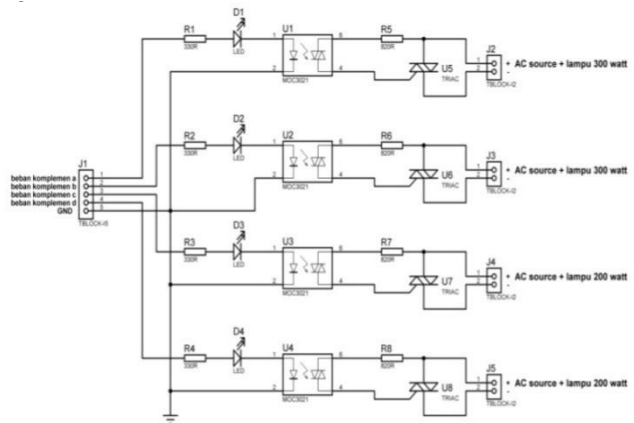
Rangkaian power line clock berfungsi sebagai pendeteksi frekuensi line sekaligus penyesuai tegangan untuk masukan mikrokontroler. Keluaran rangkaian berupa sinyal persegi dengan frekuensi 50 Hz.



Gambar 5. Rangkaian minimum mikrokontroler ATmega16

Pin 20 (PD7) digunakan sebagai masukan dengan fitur *capture* data oleh mikrokontroler Pin 8 (PB7) digunakan sebagai pin keluaran untuk pemucuan *gate* TRIAC1 sampai 4 yang terhubung beban komplemen resistif.

2. Rangkaian Switching Beban Komplemen



Gambar 6. Rangkaian pemucuan beban komplemen

Di antara pin keluaran mikrokontroler dengan TRIAC terdapat komponen LED dan *optocoupler* MOC3021. LED berfungsi mengindikasikan port keluaran mana dari mikrokontroler yang aktif dan memicu *optocoupler*. Untuk menjalankan LED dengan input tegangan 5V, dengan arus *typical* LED sebesar 20mA maka diperlukan tahanan sebesar seperti ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5}{0,02} = 250 \text{ ohm} \quad (2)$$

Sehingga dipilih komponen yang biasa terdapat di pasaran sebesar 330 ohm. *Optocoupler* MOC3021 berfungsi untuk memicu *gate* TRIAC sekaligus pemisah antara rangkaian berdaya kecil (mikrokontroler) dengan rangkaian berdaya besar (TRIAC dan beban komplemen).

3. Penentuan Komponen TRIAC

Kegagalan dalam pengoperasian ELC akibat kerusakan komponen merupakan hal yang harus dihindari. Dalam hal ini, TRIAC yang dipilih harus memiliki *rating* arus dan tegangan di atas arus dan tegangan yang dibutuhkan. Beban lampu resistif yang digunakan memiliki *rating* sebagai berikut:

- arus beban nominal: 0,43 A
- tegangan beban nominal: 220 V

Arus pada saat penyalaan beban yang melalui komponen TRIAC selalu melebihi arus nominal. Tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh

TRIAC pada saat *off state* (kondisi mati) dihitung berdasarkan Persamaan (3).

$$V_{maks} = \sqrt{2} \times 220 \quad (3)$$

$$= 311,126 \text{ volt}$$

Berdasarkan perhitungan dan estimasi di atas, setelah disesuaikan dengan ketersediaan komponen di pasaran, maka TRIAC yang digunakan adalah BTA12-600B dengan *rating* arus dan tegangan sebesar 12 A dan 600 V.

4. Perancangan Pengaman terhadap Laju Pertambahan Arus di/dt

Kerusakan TRIAC yang disebabkan oleh di/dt yang tinggi dapat dihindari dengan memasang inductor terhubung seri dengan beban. Secara pendekatan, di/dt maksimum dapat dihitung melalui Persamaan (4) dan (5).

$$V = L \cdot di/dt \text{ volt} \quad (4)$$

$$di/dt_{maks} = \frac{V}{L} \text{ A/s} \quad (5)$$

$$di/dt_{maks} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{0,02565}$$

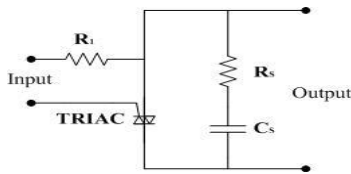
$$= 12129,7 \text{ A/s}$$

$$= 0,01213 \text{ A/}\mu\text{s}$$

di/dt maksimum komponen TRIAC pada datasheet sebesar 50 A/ μ s, sehingga **tidak diperlukan** lagi pengaman di/dt .

5. Perancangan Pengaman Terhadap Laju Pertambahan Tegangan dv/dt

Pengaman terhadap laju kenaikan tegangan dv/dt perlu dilakukan karena jika dv/dt dari TRIAC terlampaui maka TRIAC akan terkonduksi meskipun tidak ada arus *trigger* pada terminal *gate* TRIAC. Pengaruh dv/dt bisa dikurangi dengan menggunakan rangkaian *snubber* seperti ditunjukkan pada Gambar 7[5].



Gambar 7. Rangkaian snubber pada ELC

Setiap TRIAC mempunyai spesifikasi dv/dt maksimumnya yang tertera pada setiap *datasheet* komponen. dv/dt pada *datasheet* TRIAC BTA12-600B tertera sebesar 10V/ μ detik. Perhitungan nilai dari kapasitor *snubber* C_s dan resistor *snubber* R_s adalah berdasarkan Persamaan (6).

$$f_0 = \frac{dv/dt_{maks}}{v_p \times 2\pi} \quad (6)$$

$$= \frac{10 \times 10^6}{220\sqrt{2} \times 2\pi}$$

$$= 5,1 \text{ kHz}$$

Nilai C_s ditentukan dengan perhitungan berdasarkan Persamaan (7) dan (8).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 5,1 \times 10^3)^2 \times 0,02565}$$

$$= 37,96 \times 10^{-9} \text{ F}$$

Nilai dari R_s ditentukan dengan perhitungan berdasarkan Persamaan (9).

$$R_s = \sqrt{\frac{L}{C_s}} \quad (9)$$

$$= \sqrt{\frac{0,02565}{37,96 \times 10^{-9}}}$$

$$= 822,01 \Omega$$

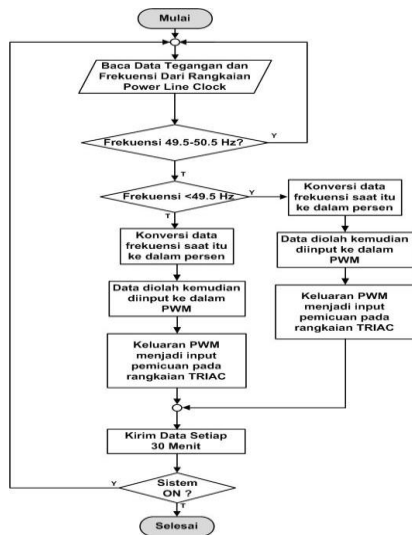
Berdasarkan perhitungan di atas dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran, maka nilai kapasitor dan resistor yang digunakan sebesar $C = 33 \text{ nF}$ dan $R = 820 \Omega$. Rangkaian *snubber* di atas tidak digunakan pada beban komplemen yang hanya terdiri dari beban resistif saja tetapi tetap digunakan resistor pengaman saja untuk menyesuaikan arus gate puncak TRIAC BTA 12-600B sebesar 4A, digunakan resistor yang besarnya sama dengan resistor pada persamaan 4.8 dengan hasil 820 ohm, dengan perhitungan yang ditunjukkan pada Persamaan (10).

$$I_G = \frac{220}{820} \quad (10)$$

$$= 0,27 \text{ A}$$

6. Perancangan Perangkat Lunak ELC

Perangkat lunak yang akan digunakan adalah perangkat lunak untuk pemrograman mikrokontroler ATmega16. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. *Software* yang digunakan untuk proses *writing* dan *compile* program adalah WinAVR Compiler. Selanjutnya program tersebut ditulis dalam kode heksadesimal pada ATmega16 menggunakan *writer software* MyWrite.

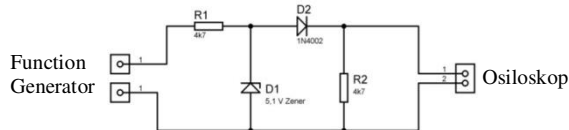


Gambar 8. Diagram alir ELC

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Rangkaian Power Line Clock

Gambar 9 menunjukkan rangkaian pengujian rangkaian power line clock



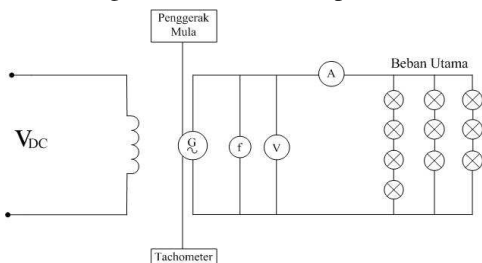
Gambar 9. Pengujian Rangkaian Power Line Clock



Gambar 10. Hasil keluaran pengujian rangkaian power line clock

B. Pengujian Pembebanan Generator Sinkron Dengan Beban Utama tanpa ELC

Gambar 11 menunjukkan rangkaian pengujian pembebanan generator sinkron tanpa ELC



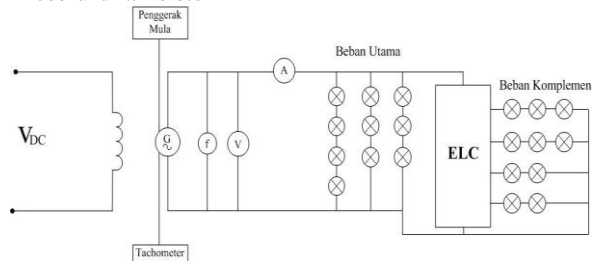
Gambar 11. Pengujian Pembebanan Generator Sinkron tanpa ELC

Tabel 3 Hasil Pengujian Pembebanan Generator Sinkron tanpa ELC

Daya Beban Utama (W)	Arus Beban Utama (A)	Putaran (rpm)	Tegangan Generator (V)	Frekuensi (Hz)
1000	4,32	1470	220	50
900	3,91	1450	230	50,4
800	3,53	1490	230	50,6
700	3,14	1510	235	51
600	2,72	1430	240	51,2
500	2,28	1435	240	51,4
400	1,84	1490	245	52
300	1,39	1530	250	52,4
200	0,92	1515	253	52,6
100	0,45	1510	255	53,2

C. Pengujian Pembebanan Generator Sinkron Dengan Beban Utama Dilengkapi ELC dengan Beban Komplemen (Keseluruhan Sistem)

Gambar 12 menunjukkan rangkaian pengujian keseluruhan sistem



Gambar 12. Pengujian Keseluruhan Sistem

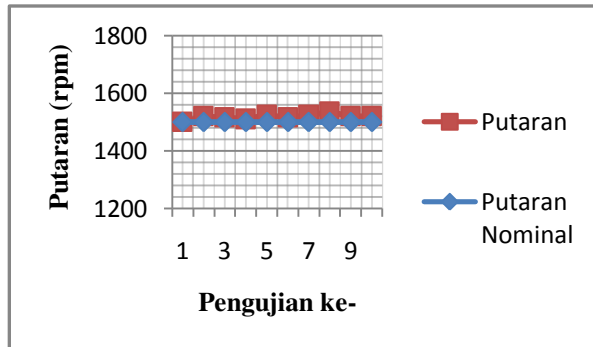
Hasil Pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Daya Beban Utama (W)	Arus Beban Utama (A)	Putaran (rpm)	Tegangan Generator (V)	Frekuensi (Hz)
1000	4,32	1500	220	50,4
900	3,91	1520	219	50,5
800	3,53	1515	218	50,6
700	3,14	1510	217	50,6
600	2,72	1525	218	50,5
500	2,28	1515	220	50,8
400	1,84	1525	218	50,7
300	1,39	1535	217	50,6
200	0,92	1520	218	50,6
100	0,45	1520	219	50,4

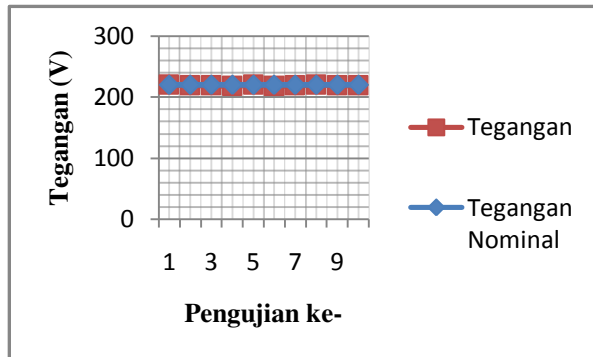
Hasil pengujian menunjukkan nilai parameter – parameter terukur pada putaran(rpm), tegangan(V), dan frekuensi(Hz) dapat terjaga pada nilai nominalnya.

3.3.1 Analisis Error



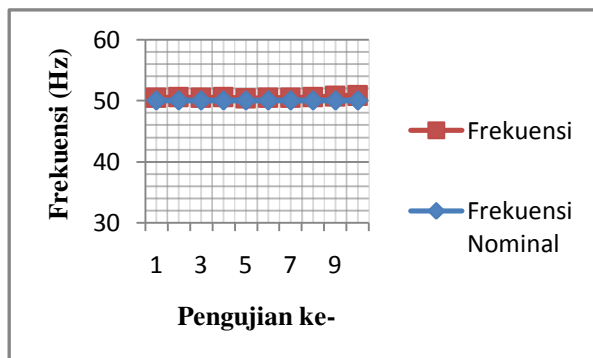
Gambar 13 Fluktuasi putaran pada pengujian dengan ELC

Respon putaran berdasar pengujian diperoleh nilai frekuensi rata – rata sebesar 1519 Hz, yang selisihnya dari nilai nominal sebesar 19 rpm atau 1,27%



Gambar 14 Fluktuasi Tegangan pada pengujian dengan ELC

Respon tegangan berdasar pengujian diperoleh nilai tegangan rata – rata sebesar 219 V, yang selisihnya dari nilai nominal sebesar 1 V atau 0,45%



Gambar 15 Fluktuasi frekuensi pada pengujian dengan ELC

Respon frekuensi berdasar pengujian diperoleh nilai frekuensi rata – rata sebesar 50,6 Hz, yang selisihnya dari nilai nominal sebesar 0,6 Hz atau 1,2%

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Beban komplemen, misalnya berjenis beban resistif dapat digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan generator saat terjadi fluktuasi pemakaian daya oleh beban utama karena beban komplemen berfungsi menggantikan daya beban utama yang berkurang.
2. Modul *Electronic Load Controller* mampu mendeteksi perubahan daya (nilai frekuensi) beban utama lalu melakukan pemutusan pada komponen TRIAC untuk mengaktifkan beban komplemen yang diinginkan.
3. Modul *Electronic Load Controller* mampu menjaga nilai tegangan keluaran generator dengan nilai fluktuasi rata – rata 0,45% dari tegangan nominalnya dan nilai frekuensi keluaran generator dengan nilai fluktuasi rata – rata 1,2% (dalam skala laboratorium).

4.2 Saran

Untuk penyempurnaan penelitian ini, ada beberapa saran yang perlu dilakukan antara lain:

1. Mempertimbangkan pengaturan sudut penyalan TRIAC sebagai pengalihan daya ke beban komplemen untuk mendapatkan pengalihan daya yang lebih halus.
2. Menggunakan spesifikasi komponen yang lebih tinggi dari alat yang dibuat untuk kapasitas PLTMH yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kholifatulloh, Muhammad. 2012. *Kajian Terhadap Perancangan Electronic Load Controller Menggunakan Mikrokontroler ATmega16 Sebagai Pengendali Beban Komplemen Resistif dan Dinamik*. Malang: Universitas Brawijaya
- [2] Gao, Sarsing. Murthy, S. S. Bhuvaneswari, G. Gayathri, M. Sree Lalitha. 2010. *Design of a Microcontroller Based Electronic Load Controller for a Self Excited Induction Generator Supplying Single-Phase Loads*. http://review.jpe.or.kr/On_line/admin/paper/files/15-JPE-10050.pdf. Diakses tanggal 21 Februari 2011.
- [3] Kuphaldt, Tony R. 2007. *Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics*. <http://www.vias.org/feec>. Diakses tanggal 10 September 2013
- [4] Hasan, Achmad. 2006. *Pengontrol Beban Elektronik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- [5] Tooley, Mike. 2006. *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*. Oxford: Elsevier